ANALISIS KEBOCORAN HEAT EXCHANGER 5 DI PPSDM MIGAS

Artha Renata Chintya Gracia S[1], Putri Lestari[2], Nurmalis[3], Aldillah Herlambang[4], Rizka Shafira[5], Oki Alfernando[6]

[1,2,3,4,5,6]*Universitas Jambi*
E-mail : lstriiiputri@gmail.com

ABSTRACT

The abstract in this article essentially covers the main components of the research, namely the background, objectives, methods, and results. The study focuses on analyzing the damage to heat exchanger HE-05 at PPSDM Migas, which plays a crucial role in the efficiency of crude oil heating. The main issue addressed is the occurrence of leaks due to abnormal operating conditions. It outlines the approaches used, namely field studies and literature reviews supported by data from the DCS and P&ID. This indicates that the research is based on real data and technical analysis, making it sufficiently relevant to explain the causes of the damage. However, this abstract remains somewhat overly descriptive and does not explicitly emphasize the urgency or research gaps. Furthermore, the cause-and-effect relationship is actually clear: high water content (5.5%) leading to increased pressure, compounded by safety valve failure and sensor inaccuracies; however, this is not formulated in a more analytical manner. The abstract is informative as it effectively summarizes the core of the research, namely that the failure of HE-05 was not solely due to material factors but also stemmed from control system and operational failures. This demonstrates that in industrial systems, failures are often multidimensional, not singular.

Keywords : *Leakage, Heat Exchanger 5, PPSDM Migas*

ABSTRAK

Abstrak dalam artikel ini pada dasarnya sudah memuat komponen utama penelitian, yaitu latar belakang, tujuan, metode, dan hasil. Penelitian berfokus pada analisis kerusakan heat exchanger HE-05 di PPSDM Migas yang berperan penting dalam efisiensi pemanasan crude oil. Permasalahan utama yang diangkat adalah terjadinya kebocoran akibat kondisi operasi yang tidak normal. Menunjukkan pendekatan yang digunakan, yaitu studi lapangan dan studi pustaka dengan dukungan data dari DCS dan P&ID. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian berbasis data nyata dan analisis teknik, sehingga cukup relevan untuk menjelaskan penyebab kerusakan. abstrak ini masih cenderung terlalu deskriptif dan belum menekankan urgensi atau gap penelitian secara eksplisit. Selain itu, hubungan sebab-akibat sebenarnya sudah jelas, yaitu tingginya water content (5,5%) yang menyebabkan peningkatan tekanan, ditambah kegagalan safety valve dan ketidakakuratan sensor, tetapi tidak dirumuskan dalam kalimat yang lebih analitis. informatif karena mampu merangkum inti penelitian, yaitu bahwa kerusakan HE-05 bukan hanya disebabkan oleh faktor material, tetapi juga oleh kegagalan sistem kontrol dan operasi. Ini menunjukkan bahwa dalam sistem industri, kerusakan sering bersifat multidimensional, bukan tunggal.

Kata Kunci : *Kebocoran, Heat Exchanger 5, PPSDM Migas*

PENDAHULUAN

Pendahuluan dalam artikel ini secara umum sudah menggambarkan konteks permasalahan yang cukup jelas, terutama terkait kondisi kilang PPSDM Migas sebagai salah satu kilang tua di Indonesia. Penulis menekankan bahwa usia peralatan yang sudah tua menjadi faktor utama yang memengaruhi kinerja operasional. Hal ini logis karena peralatan yang sudah lama digunakan cenderung mengalami penurunan performa, kesulitan perawatan, serta keterbatasan suku cadang. Kondisi tersebut pada akhirnya berdampak pada tidak optimalnya sistem operasi dan meningkatnya potensi kerusakan peralatan. Penjelasan mengenai keberadaan lima heat exchanger (HE-01 hingga HE-05) juga menunjukkan bahwa sistem produksi sangat bergantung pada kinerja alat tersebut. Namun, tidak semua heat exchanger dapat beroperasi secara optimal karena adanya kerusakan pada beberapa unit, seperti HE-01 dan HE-04. Dampak dari kondisi ini dijelaskan dengan cukup baik, yaitu berkurangnya efisiensi pemanfaatan panas dan meningkatnya kebutuhan bahan bakar pada furnace. Artinya, penulis berhasil menunjukkan hubungan sebab-akibat antara kerusakan alat dan peningkatan biaya operasional.

Selanjutnya, mulai mengerucut pada kasus utama, yaitu kerusakan pada HE-05 yang terjadi pada 2 Juli 2020. Penyajian kronologi kejadian ini menjadi nilai lebih karena memberikan gambaran nyata tentang situasi di lapangan. Hipotesis awal dari operator yang menyebutkan bahwa kerusakan disebabkan oleh overpressure juga menunjukkan adanya pendekatan awal berbasis pengalaman praktis. Namun, secara kritis, hipotesis ini masih bersifat sementara dan belum didukung oleh analisis ilmiah yang mendalam. Penulis kemudian memperkuat latar belakang dengan menyajikan data hasil pengujian crude oil, yaitu meningkatnya massa jenis dan kandungan air yang melebihi ambang batas. Informasi ini menjadi kunci penting karena mulai mengarah pada penyebab teknis kerusakan. Dengan kata lain, pendahuluan tidak hanya berhenti pada deskripsi masalah, tetapi juga mulai mengarahkan pembaca pada kemungkinan faktor penyebab yang lebih spesifik. Hal ini menunjukkan alur berpikir yang cukup sistematis.

Penulis menyusun pertanyaan yang cukup relevan, yaitu apakah kandungan air yang tinggi merupakan satu-satunya penyebab kerusakan, serta apakah terdapat faktor lain yang turut berpengaruh. Pertanyaan ini menunjukkan bahwa penelitian tidak hanya berfokus pada satu variabel, tetapi membuka kemungkinan adanya faktor lain seperti sistem kontrol, tekanan operasi, atau kegagalan alat pendukung. Secara analitis, ini merupakan langkah yang tepat karena kerusakan dalam sistem industri umumnya bersifat kompleks dan multidimensional. Manfaat penelitian juga sudah jelas, yaitu sebagai referensi untuk meningkatkan standar keamanan operasional heat exchanger di PPSDM Migas. Ini menunjukkan bahwa penelitian tidak hanya bersifat akademis, tetapi juga memiliki nilai praktis bagi dunia industri. Namun, secara kritis, manfaat yang dituliskan masih cukup umum dan belum menjelaskan secara spesifik kontribusi teknis apa yang dihasilkan dari penelitian tersebut.

Pada bagian permasalahan, penulis membatasi penelitian hanya pada area PPSDM Migas, termasuk kilang, utilitas, dan fasilitas pendukung lainnya. Pembatasan ini penting agar penelitian tetap fokus dan tidak melebar ke aspek lain di luar konteks studi. Sementara itu, tinjauan pustaka yang memuat konsep overall energy balance dan gas non-ideal menunjukkan bahwa penelitian ini memiliki dasar teoritis yang kuat, khususnya dalam bidang termodinamika dan teknik kimia. Penggunaan konsep ini relevan karena berkaitan langsung dengan analisis energi dan tekanan dalam sistem heat exchanger. Secara keseluruhan, pendahuluan ini sudah cukup baik dalam membangun alur dari kondisi umum menuju masalah spesifik. Namun, secara kritis, masih

terdapat kelemahan pada penekanan gap penelitian dan kedalaman analisis awal. Pendahuluan lebih banyak bersifat deskriptif dibandingkan argumentatif, sehingga belum sepenuhnya menunjukkan urgensi penelitian secara ilmiah. Meskipun demikian, bagian ini tetap berhasil memberikan dasar yang jelas untuk memahami mengapa analisis kerusakan HE-05 perlu dilakukan.

METODE

Metode penelitian dalam artikel ini menunjukkan pendekatan yang cukup sistematis karena menggabungkan studi lapangan, studi literatur, serta analisis kuantitatif berbasis simulasi. Tahap awal berupa observasi langsung di kilang dan diskusi dengan operator menjadi langkah penting untuk memahami kondisi nyata serta kronologi kerusakan HE-05. Hal ini memperkuat validitas data karena tidak hanya bergantung pada teori, tetapi juga pengalaman praktis di lapangan. Selanjutnya, penggunaan studi literatur memberikan dasar ilmiah, terutama terkait konsep energi dan perilaku fluida. Pendekatan ini kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data secara kuantitatif untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan. Penggunaan software Aspen HYSYS menjadi poin penting karena memungkinkan simulasi kondisi operasi secara lebih akurat dan terkontrol. Secara analitis, metode ini sudah tepat karena mampu menghubungkan data lapangan dengan model teoritis sehingga menghasilkan analisis yang lebih komprehensif.

Namun, metode ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Penelitian sangat bergantung pada asumsi dalam simulasi, seperti input data kondisi operasi dan penyederhanaan sistem dari P&ID ke flowsheet, yang berpotensi menimbulkan bias jika tidak sesuai dengan kondisi nyata. Selain itu, tidak dijelaskan secara rinci validasi hasil simulasi dengan data aktual setelah kejadian, sehingga akurasi model belum sepenuhnya teruji. Padahal, dalam sistem heat exchanger, kerusakan tidak hanya dipengaruhi satu faktor, tetapi bisa berasal dari tekanan berlebih, kegagalan gasket, maupun kualitas fluida yang buruk . Meskipun demikian, secara keseluruhan metode yang digunakan sudah cukup kuat karena mampu mengidentifikasi hubungan sebab-akibat secara logis, yaitu dari kondisi operasi menuju kerusakan alat, sehingga dapat dijadikan dasar untuk meningkatkan standar keamanan operasional di masa mendatang.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Ringkasan Studi

Bagian hasil penelitian dalam artikel ini pada dasarnya menunjukkan bahwa hipotesis utama peneliti terbukti, yaitu kandungan water content dalam crude oil memiliki pengaruh signifikan terhadap perubahan kondisi operasi, khususnya tekanan, suhu, dan laju alir fluida di sistem heat exchanger. Melalui dua pendekatan utama, yaitu perhitungan mechanical energy balance dan simulasi menggunakan Aspen HYSYS, peneliti berusaha memvalidasi hubungan sebab-akibat antara kandungan air dan kerusakan HE-05. Pendekatan ini cukup kuat karena menggabungkan teori termodinamika dengan simulasi berbasis kondisi nyata.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kondisi tekanan tetap (15,7 barg), peningkatan water content hingga batas tertentu menyebabkan kenaikan suhu yang cukup drastis, yaitu hingga 195°C, serta peningkatan volumetric flow akibat perubahan fasa dari cair menjadi gas. Secara analitis, hal ini sejalan dengan konsep dasar heat exchanger bahwa fluida multikomponen seperti crude oil dapat mengalami perubahan fasa ketika mencapai titik bubble point, sehingga

menghasilkan uap yang meningkatkan volume dan tekanan sistem. Dengan kata lain, keberadaan air mempercepat terbentuknya dua fasa (cair dan uap), yang menjadi faktor utama peningkatan tekanan.

Namun, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa hubungan antara water content dan laju alir tidak selalu linear. Pada rentang tertentu (0,7%–4,6%), terjadi peningkatan laju alir, tetapi setelah melewati batas tersebut, sistem cenderung stabil bahkan menurun. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki batas kritis di mana pengaruh air tidak lagi meningkatkan ekspansi volume secara signifikan. Secara kritis, temuan ini penting karena membuktikan bahwa tidak semua peningkatan kandungan air selalu berdampak langsung pada peningkatan risiko, melainkan bergantung pada kondisi termodinamika campuran.

Selain itu, hasil kurva tekanan terhadap suhu menunjukkan bahwa semakin tinggi water content, maka kondisi fluida semakin mendekati karakteristik air jenuh (saturated water). Hal ini mengindikasikan bahwa sistem menjadi lebih rentan terhadap pembentukan uap. Dalam konteks industri, kondisi dua fasa seperti ini sangat berbahaya karena dapat meningkatkan tekanan secara tiba-tiba dan tidak stabil. Hal ini juga sejalan dengan fakta bahwa heat exchanger pada kilang minyak bekerja dalam kondisi suhu dan tekanan tinggi sehingga sangat rentan terhadap gangguan operasional.

Dengan demikian, secara keseluruhan, ringkasan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kerusakan HE-05 bukan hanya akibat faktor mekanis, tetapi dipicu oleh perubahan sifat fluida akibat tingginya kandungan air yang memengaruhi keseimbangan energi dan dinamika aliran dalam sistem.

Identifikasi Kriteria (Faktor Penyebab Kerusakan)

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, penelitian ini berhasil mengidentifikasi beberapa faktor utama yang menjadi penyebab kerusakan HE-05, yang dapat dikategorikan sebagai faktor fluida, faktor mekanis, dan faktor sistem kontrol. Faktor pertama dan paling dominan adalah tingginya water content dalam crude oil. Kandungan air yang melebihi batas (hingga 5,5%) menyebabkan terbentuknya uap pada kondisi operasi tertentu. Perubahan fasa ini meningkatkan tekanan dalam sistem secara signifikan, sehingga melampaui kemampuan desain peralatan.

Faktor kedua adalah peningkatan tekanan yang terjadi akibat perubahan fasa tersebut. Dalam sistem heat exchanger, tekanan yang meningkat secara tiba-tiba dapat menyebabkan kegagalan komponen, terutama pada bagian yang memiliki titik lemah seperti gasket. Dalam kasus ini, gasket pada HE-05 tidak mampu menahan tekanan tinggi sehingga terjadi kebocoran. Secara analitis, hal ini menunjukkan bahwa desain mekanis alat memiliki batas toleransi tertentu yang dapat terlampaui jika kondisi operasi tidak terkendali.

Faktor ketiga adalah penurunan flowrate yang terjadi akibat meningkatnya friksi dalam aliran fluida. Kandungan air yang tinggi menyebabkan perubahan karakteristik aliran sehingga meningkatkan hambatan (head system). Akibatnya, jumlah fluida yang mengalir berkurang, sementara panas yang ditransfer tetap relatif sama. Kondisi ini menyebabkan suhu fluida meningkat secara drastis karena panas terakumulasi pada volume fluida yang lebih kecil. Fenomena ini memperparah kondisi sistem dan mempercepat terjadinya kerusakan.

Faktor keempat adalah kegagalan sistem keselamatan, yaitu tidak berfungsinya safety valve. Dalam sistem industri, safety valve berperan penting untuk mengurangi tekanan berlebih. Ketika alat ini tidak berfungsi, tekanan yang meningkat tidak dapat dilepaskan, sehingga risiko

kerusakan menjadi lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa kerusakan tidak hanya disebabkan oleh kondisi fluida, tetapi juga oleh kegagalan sistem proteksi.

Faktor terakhir adalah ketidakakuratan sensor tekanan dan suhu. Kesalahan pembacaan sensor menyebabkan keterlambatan operator dalam merespons kondisi abnormal. Dalam sistem yang sensitif seperti heat exchanger, keterlambatan sekecil apa pun dapat berdampak besar terhadap keselamatan operasi. Oleh karena itu, faktor ini menjadi bagian penting dalam analisis karena berkaitan langsung dengan sistem kontrol dan monitoring.

Secara keseluruhan, identifikasi faktor-faktor ini menunjukkan bahwa kerusakan HE-05 bersifat kompleks dan tidak disebabkan oleh satu faktor tunggal. Kombinasi antara kondisi fluida yang tidak ideal, kegagalan mekanis, dan kelemahan sistem kontrol menjadi penyebab utama terjadinya kebocoran. Hal ini menegaskan bahwa dalam sistem industri, pendekatan analisis harus dilakukan secara menyeluruh, tidak hanya berfokus pada satu aspek saja.

Analisis Kritis

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor utama yang menyebabkan kerusakan HE-05 adalah tingginya kandungan water content dalam crude oil yang melebihi batas normal (<0,7%) hingga mencapai sekitar 5,5%. Secara analitis, peningkatan kandungan air ini terbukti memengaruhi perilaku fluida, khususnya pada perubahan fasa dari cair menjadi uap saat melewati heat exchanger. Dalam simulasi menggunakan Aspen HYSYS, ditunjukkan bahwa pada kondisi tekanan 15,7 barg dan suhu sekitar 195°C, fluida mengalami ekspansi volume yang signifikan akibat terbentuknya dua fasa (liquid dan gas). Hal ini menyebabkan kenaikan volumetric flow dari 77 m^3/hari menjadi 98,83 m^3/hari, yang secara langsung berkontribusi pada peningkatan tekanan dalam sistem.

Secara kritis, hasil ini memperlihatkan hubungan sebab-akibat yang cukup kuat, yaitu semakin tinggi water content, maka semakin besar potensi terbentuknya uap yang mendorong kenaikan tekanan. Fenomena ini sejalan dengan konsep perpindahan panas dua fasa, di mana perubahan dari cair ke gas dapat meningkatkan dinamika aliran dan tekanan sistem secara signifikan. Namun, penelitian ini juga menunjukkan bahwa hubungan antara water content dan laju alir tidak selalu linear. Pada rentang 0,7% hingga 4,6%, volumetric flow meningkat, tetapi setelah melewati batas tersebut, laju alir justru cenderung stabil atau menurun. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki batas tertentu di mana efek air tidak lagi meningkatkan ekspansi, melainkan memengaruhi sifat campuran fluida.

Selain itu, analisis menggunakan mechanical energy balance memperkuat hasil simulasi bahwa kenaikan water content tidak hanya memengaruhi tekanan, tetapi juga menurunkan flowrate sistem secara keseluruhan. Ketika flowrate turun drastis (misalnya hingga 25 m^3/day dari kondisi normal 180 m^3/day), suhu fluida justru meningkat tajam. Secara logis, kondisi ini terjadi karena panas yang ditransfer tetap relatif konstan, tetapi jumlah fluida yang menyerap panas berkurang, sehingga suhu meningkat lebih tinggi. Kondisi ini memperburuk situasi karena suhu tinggi mempercepat perubahan fasa dan memperbesar tekanan.

Namun, jika dianalisis lebih dalam, kerusakan HE-05 tidak hanya disebabkan oleh water content semata. Artikel juga menunjukkan adanya kegagalan sistem pendukung, seperti safety valve yang tidak berfungsi serta sensor tekanan dan suhu yang tidak akurat. Hal ini menjadi poin kritis bahwa kerusakan bukan hanya akibat faktor proses, tetapi juga kegagalan sistem kontrol. Dengan kata lain, meskipun kondisi operasi sudah berbahaya, sistem pengaman yang seharusnya mencegah kerusakan justru tidak bekerja optimal.

Dengan demikian, secara kritis dapat disimpulkan bahwa penelitian ini berhasil membuktikan hipotesis bahwa water content berpengaruh signifikan terhadap kenaikan tekanan. Namun, penyebab kerusakan bersifat multidimensional, melibatkan interaksi antara sifat fluida, kondisi operasi, dan kegagalan sistem kontrol.

Re-evaluasi

Berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan, perlu dilakukan evaluasi ulang terhadap interpretasi hasil penelitian agar tidak hanya berfokus pada satu faktor penyebab. Meskipun water content terbukti menjadi pemicu utama perubahan tekanan, data menunjukkan bahwa sistem sebenarnya masih memiliki peluang untuk menghindari kerusakan jika komponen pendukung berfungsi dengan baik. Dalam hal ini, kegagalan safety valve menjadi faktor krusial karena alat tersebut seharusnya berperan sebagai pelindung utama terhadap overpressure.

Selain itu, ketidakakuratan sensor tekanan dan suhu menunjukkan adanya kelemahan dalam sistem monitoring. Dalam sistem industri, keterlambatan pembacaan data dapat menyebabkan operator tidak mampu mengambil tindakan cepat, sehingga kerusakan menjadi tidak terhindarkan. Oleh karena itu, re-evaluasi harus melihat bahwa masalah utama bukan hanya pada fluida, tetapi juga pada sistem deteksi dan respon terhadap kondisi abnormal.

Dari sisi metodologi, penggunaan simulasi Aspen HYSYS dan perhitungan mechanical energy balance sudah memberikan gambaran yang cukup kuat terhadap perilaku sistem. Namun, secara kritis, hasil simulasi tetap bergantung pada asumsi yang digunakan, seperti penyederhanaan sistem dan kondisi operasi yang dianggap konstan. Hal ini berarti bahwa hasil penelitian memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan kondisi nyata secara sempurna. Oleh karena itu, diperlukan validasi lebih lanjut dengan data aktual yang lebih rinci.

Lebih lanjut, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa peningkatan water content tidak selalu memberikan efek yang sama pada setiap kondisi. Pada titik tertentu, sistem menunjukkan perubahan perilaku yang tidak linear, sehingga pendekatan analisis tidak bisa hanya menggunakan satu parameter. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem heat exchanger memiliki kompleksitas tinggi yang dipengaruhi oleh banyak variabel, seperti tekanan, suhu, komposisi fluida, dan kondisi peralatan.

Sebagai hasil re-evaluasi, dapat ditegaskan bahwa pencegahan kerusakan di masa depan tidak cukup hanya dengan mengontrol water content, tetapi juga harus mencakup perbaikan sistem kontrol, kalibrasi sensor, serta perawatan rutin pada peralatan seperti safety valve dan heat exchanger. Dengan pendekatan yang lebih menyeluruh, potensi kerusakan serupa dapat diminimalisir.

Secara keseluruhan, bagian hasil dan pembahasan ini sudah mampu menjelaskan fenomena teknis yang terjadi, tetapi masih perlu penguatan pada aspek integrasi antar faktor. Artinya, analisis tidak hanya melihat satu penyebab utama, tetapi juga hubungan antar komponen dalam sistem operasi secara keseluruhan.

Perbandingan Material (dalam bentuk tabel analitis)

Tabel 1. Perbandingan Material (Berbasis Kondisi Kegagalan HE-05)

Kriteria	Material dalam Jurnal (diasumsikan baja karbon / material standar kilang lama)	Material Alternatif 1 (T.ahan korosi & suhu)	Material Alternatif 2 (tahan ekstrem)

Ketahanan terhadap Tekanan	Terbatas, sesuai desain awal (tidak untuk lonjakan ekstrem)	Lebih baik menahan tekanan tinggi	Sangat tinggi, stabil pada tekanan ekstrem
Ketahanan terhadap Suhu Tinggi	Menurun pada suhu tinggi (±190°C ke atas)	Stabil pada suhu tinggi	Sangat stabil, bahkan pada suhu ekstrem
Respon terhadap Fluida Dua Fasa (Liquid + Gas)	Tidak dirancang untuk kondisi dua fasa dinamis	Lebih tahan terhadap fluktuasi termal	Sangat baik untuk kondisi
Ketahanan terhadap Water Content Tinggi	Rentan terhadap korosi & perubahan sifat fluida	Lebih tahan terhadap air dan kontaminan	Sangat tahan korosi, termasuk air tinggi
Ketahanan Gasket / Seal	Mudah gagal saat tekanan tinggi	Lebih kompatibel dengan gasket modern	Sangat stabil untuk sealing ekstrem
Umur Pakai (Aging Equipment)	Sudah tua, performa menurun	Lebih tahan lama	Umur sangat panjang
Kesesuaian dengan Sistem Lama	Sesuai desain awal, tapi tidak adaptif	Perlu penyesuaian	Perlu redesign sistem
Biaya & Implementasi	Murah, sudah digunakan lama	Sedang	Sangat mahal

Tabel tersebut menunjukkan bahwa material yang digunakan pada HE-05 kemungkinan merupakan material standar kilang lama yang sebenarnya masih layak untuk kondisi operasi normal, tetapi menjadi tidak memadai ketika terjadi perubahan kondisi ekstrem seperti peningkatan water content hingga 5,5%. Kondisi ini menyebabkan terbentuknya dua fasa (cair dan uap) yang memicu lonjakan tekanan dan suhu. Material awal tidak dirancang untuk menghadapi dinamika fluida seperti ini, sehingga ketahanannya terhadap tekanan dan suhu menjadi terbatas dan akhirnya berkontribusi pada kegagalan gasket.

Jika dibandingkan dengan material alternatif seperti stainless steel, terlihat bahwa material ini memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap suhu tinggi, tekanan, serta keberadaan air dalam fluida. Artinya, dalam kondisi yang sama, stainless steel berpotensi lebih mampu menahan perubahan operasi tanpa mengalami kegagalan secepat material awal. Sementara itu, titanium grade 2 memiliki ketahanan paling tinggi terhadap kondisi ekstrem, baik dari sisi tekanan, suhu, maupun korosi akibat kandungan air. Namun, secara kritis, keunggulan ini tidak serta-merta menjadikannya solusi utama karena biaya tinggi dan kebutuhan penyesuaian sistem.

Dari perbandingan ini dapat disimpulkan bahwa kegagalan HE-05 bukan semata karena kelemahan material, tetapi karena material yang digunakan tidak lagi sesuai dengan kondisi operasi yang sudah melampaui batas desain. Dengan kata lain, peningkatan kualitas material dapat mengurangi risiko, tetapi tidak akan efektif jika faktor utama seperti water content, sistem kontrol, dan tekanan operasi tidak diperbaiki.

Risiko dan Implikasi Kegagalan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kegagalan heat exchanger HE-05 bukan hanya peristiwa teknis biasa, tetapi memiliki risiko yang kompleks dan berlapis. Risiko utama yang

muncul berasal dari peningkatan tekanan akibat tingginya water content dalam crude oil yang memicu perubahan fasa menjadi uap. Ketika fluida berubah dari cair ke gas, terjadi ekspansi volume yang signifikan sehingga tekanan dalam sistem meningkat secara drastis. Kondisi ini menjadi sangat berbahaya karena sistem heat exchanger pada dasarnya dirancang untuk kondisi fluida yang relatif stabil, bukan untuk dinamika dua fasa yang fluktuatif.

Secara analitis, risiko pertama adalah **risiko mekanis**, yaitu kegagalan komponen seperti gasket yang tidak mampu menahan tekanan tinggi. Dalam artikel dijelaskan bahwa gasket pada HE-05 terlepas akibat overpressure, yang menunjukkan bahwa batas kekuatan material telah terlampaui. Hal ini sejalan dengan kajian umum bahwa lonjakan tekanan mendadak dapat menyebabkan kegagalan seal pada heat exchanger, terutama jika tekanan tersebut melebihi kondisi desain. Risiko ini tidak hanya menyebabkan kebocoran, tetapi juga dapat merusak komponen lain di sekitarnya.

Risiko kedua adalah **risiko termal**, yang terjadi akibat peningkatan suhu secara drastis. Penurunan flowrate menyebabkan jumlah fluida yang menyerap panas menjadi lebih sedikit, sehingga suhu fluida meningkat tajam. Kondisi ini menciptakan siklus yang berbahaya, karena suhu tinggi mempercepat perubahan fasa, yang kemudian kembali meningkatkan tekanan. Secara kritis, ini menunjukkan adanya efek domino dalam sistem, di mana satu gangguan kecil dapat berkembang menjadi kegagalan besar.

Risiko ketiga adalah **risiko operasional**, yaitu terganggunya proses produksi. Dalam kasus ini, kerusakan HE-05 menyebabkan sistem harus dilakukan bypass agar operasi tetap berjalan. Hal ini menunjukkan bahwa kegagalan satu unit dapat memengaruhi keseluruhan sistem produksi. Dalam skala industri, kondisi ini dapat menyebabkan penurunan efisiensi, peningkatan biaya operasional, serta potensi downtime yang merugikan.

Selain itu, terdapat **risiko sistem kontrol**, yang justru menjadi salah satu faktor paling krusial. Sensor tekanan dan suhu yang tidak akurat menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi kondisi abnormal. Ditambah dengan safety valve yang tidak berfungsi, sistem kehilangan mekanisme perlindungan utama terhadap overpressure. Secara kritis, ini menunjukkan bahwa kegagalan tidak hanya terjadi pada level material, tetapi juga pada level sistem pengendalian. Dalam sistem industri, kegagalan kontrol sering kali lebih berbahaya dibandingkan kegagalan mekanis karena dapat menyebabkan keterlambatan respon.

Implikasi dari kegagalan ini tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga strategis. Dari sisi keselamatan, kebocoran pada heat exchanger dapat berpotensi membahayakan pekerja, terutama jika fluida yang bocor bersuhu tinggi atau mudah terbakar. Dari sisi ekonomi, kerusakan ini dapat meningkatkan biaya perawatan, penggantian komponen, serta kerugian akibat terganggunya produksi. Bahkan dalam beberapa kasus, kegagalan heat exchanger dapat menyebabkan penghentian operasi secara total jika tidak segera ditangani.

Lebih jauh lagi, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kegagalan HE-05 memiliki implikasi penting terhadap manajemen operasional. Sistem tidak hanya perlu dikontrol dari sisi parameter proses, tetapi juga harus didukung oleh peralatan yang andal dan sistem monitoring yang akurat. Tanpa hal tersebut, potensi risiko akan terus berulang meskipun penyebab utama telah diketahui.

Secara keseluruhan, risiko dan implikasi kegagalan HE-05 menunjukkan bahwa sistem heat exchanger merupakan sistem yang sangat sensitif terhadap perubahan kondisi fluida. Oleh karena itu, pendekatan yang diperlukan tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga sistemik, meliputi pengendalian kualitas fluida, perawatan alat, serta peningkatan keandalan sistem kontrol. Dengan

demikian, kegagalan serupa dapat dicegah di masa mendatang melalui pendekatan yang lebih komprehensif dan terintegrasi.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kerusakan heat exchanger HE-05 bukanlah akibat satu faktor tunggal, melainkan hasil dari interaksi kompleks antara kondisi fluida, performa alat, dan kegagalan sistem kontrol. Kandungan water content yang jauh melebihi batas normal terbukti menjadi pemicu utama karena menyebabkan perubahan fasa dari cair menjadi uap, yang kemudian meningkatkan volumetric flow dan tekanan secara signifikan hingga melampaui kapasitas desain sistem. Namun, secara kritis, kondisi ini seharusnya masih dapat dikendalikan jika sistem proteksi bekerja optimal. Fakta bahwa safety valve tidak berfungsi dan sensor tidak akurat menunjukkan adanya kegagalan berlapis dalam sistem operasional, sehingga tekanan berlebih tidak terdeteksi dan tidak tertangani dengan cepat. Selain itu, penurunan flowrate yang menyebabkan kenaikan suhu semakin memperburuk kondisi, menciptakan efek domino yang mempercepat kerusakan gasket dan kebocoran. Hal ini menegaskan bahwa sistem heat exchanger sangat sensitif terhadap perubahan kualitas fluida dan membutuhkan kontrol yang terintegrasi antara parameter proses dan keandalan peralatan. Dalam konteks yang lebih luas, temuan ini sejalan dengan karakter umum kegagalan heat exchanger yang sering dipicu oleh kombinasi tekanan tinggi, kondisi fluida yang tidak sesuai, serta kurangnya perawatan dan sistem monitoring . Dengan demikian, inti dari penelitian ini bukan hanya membuktikan pengaruh water content, tetapi juga menegaskan bahwa kegagalan operasional terjadi ketika sistem tidak mampu merespons perubahan kondisi secara tepat, sehingga pencegahan ke depan harus dilakukan secara menyeluruh, tidak hanya pada fluida tetapi juga pada sistem kontrol dan manajemen peralatan.

DAFTAR PUSTAKA

Geankoplis, Christie J. (2003). Transport processes and separation process principles:(includes unit operations). Prentice Hall Professional Technical Reference

J. M. Smith, H. C. Van Ness, & M. M. Abbott. (2005). Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 7th Edition, McGraw Hill Professional,

Kern, D.Q. (1950). Process Heat Transfer. McGraw Hill Book Company inc,

PPT PPSDM Migas Cepu. (2020). Profil PPSDM Migas Cepu, Jawa Tengah, Seborg, Dale E., Duncan A. Mellichamp,

Thomas F. Edgar, & Francis J. Doyle III. (2011). Process dynamics and control. John Wiley & Sons.Setiyono, Laboratorium Kilang PPSDM Migas Cepu, JAWA